过瘤胃甜菜碱对肉羊生长性能和消化代谢的调控[1]

崔慧慧[1]　王洪荣[1*]　李华伟[1]　徐进昊[1]　贺　瑶[1]　喻礼怀[1]　邹三元[2]

（1.扬州大学动物科学与技术学院，扬州　225009；2.宜兴市天石饲料有限公司，宜兴　214200）

摘　要：本试验旨在研究过瘤胃甜菜碱（betaine）对肉羊生长性能、营养物质表观消化率和血液生化指标的影响。选取 60 只 4 月龄的湖羊公羊，随机分成 5 个组：空白对照（Con）组、2.2 g/d 甜菜碱组（B-2.2）、2 g/d 过瘤胃甜菜碱组（RPB-2）、4 g/d 过瘤胃甜菜碱组（RPB-4）和 6 g/d 过瘤胃甜菜碱组（RPB-6）。预试期 15 d，正试期 60 d。结果表明：1）与 Con 组相比，B-2.2 组的肉羊平均日采食量、平均日增重和料重比差异不显著（$P>0.05$）；干物质、粗蛋白质、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率无显著变化（$P>0.05$）；血清总蛋白、尿素氮、总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白和低密度脂蛋白的含量无显著变化（$P>0.05$）。2）与 Con 和 B-2.2 组相比，RPB-2、RPB-4 和 RPB-6 组平均日采食量差异不显著（$P>0.05$），平均日增重显著提高（$P<0.05$），料重比显著降低（$P<0.05$）；干物质、粗蛋白质、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率无显著变化（$P>0.05$）；显著降低了血清中尿素氮、总胆固醇和甘油三酯的含量（$P<0.05$），极显著降低了低密度脂蛋白的含量（$P<0.01$），极显著提高了总蛋白的含量（$P<0.05$），高密度脂蛋白含量差异不显著（$P>0.05$）。由此可见，在本试验中，饲粮中添加过瘤胃甜菜碱，可以提高肉羊的生长性能，改善蛋白质和脂肪代谢，适宜添加量为 4 g/d。

关键词：甜菜碱；过瘤胃甜菜碱；肉羊；生长性能；血液生化指标

中图分类号：S816.7；S826

甜菜碱，又称为三甲基甘氨酸，是动物体内天然存在的无毒物质，最早从甜菜糖蜜中分离出来。甜菜碱是高效的甲基供体，参与机体重要的生理调节过程[1]。大量研究表明，甜菜碱具有参与蛋白质和脂肪代谢[2-3]，调节动物体正常渗透压等功能[4-5]。在单胃动物生产中，甜菜碱可以作为饲料添加剂用于动物生长发育、提高动物采食量、降低料肉比[6-9]。但是,在反刍动物生产中直接饲喂甜菜碱会被瘤胃微生物降解成三甲胺[10]，导致其添加效果不理想，

收稿日期：2015-07-23

基金项目：公益性行业（农业）科研专项（201303144）；苏北科技发展计划-科技富民强县项目（BN2014004）；江苏省高校优势学科(PAPD)

作者简介：崔慧慧（1989—），女，新疆吐鲁番人，硕士，从事反刍动物营养与饲料研究。E-mail：huihuicui163@163.com

*通信作者：王洪荣，教授，博士生导师，Email：　hrwang@yzu.edu.cn

因此反刍动物生产中多采用过瘤胃甜菜碱(rumen-protected betaine,RPB)的形式进行添加。樊晓京等[11]和连红等[12]研究发现，饲粮中添加过瘤胃甜菜碱能够有效提高奶牛的泌乳性能。Wang 等[13]研究表明，甜菜碱能够提高泌乳牛对饲粮中干物质（DM）、粗蛋白质（CP）、中性洗涤纤维（NDF）和酸性洗涤纤维（ADF）的消化率。此外 Löest 等[14]在肉牛饲粮中添加甜菜碱，可以提高肉牛的采食量,提高日增重,降低料肉比。目前围绕过瘤胃甜菜碱的研究逐渐增多，相应的产品开发成为厂家和科研单位关注的焦点，但是受产品保护工艺、包被材料以及保护程度的影响，需要对相关产品进行应用效果评定。随着肉羊育肥产业的兴起，调控肉羊生长速度及肉品质的添加剂逐步得到应用，利用甜菜碱应用于肉羊生产刚刚开始。迄今，国内过瘤胃甜菜碱产品已经开发上市，在肉羊育肥中的应用及效果有待评定。本试验旨在研究添加甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对湖羊生长性能和消化代谢的调控作用，为甜菜碱在肉羊生产中的高效利用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

甜菜碱、过瘤胃甜菜碱：由宜兴天石饲料有限公司提供，其中过瘤胃甜菜碱中甜菜碱含量为 55%，过瘤胃率为 60%。

1.2　试验设计及饲养管理

试验于 2014 年 9 月至 2015 年 1 月在江苏太仓市生态养殖合作社进行。选用 60 只 4 月龄湖羊公羊，平均体重为（30.47±2.04） kg。采用单因子试验设计，随机分成 5 组，每组 12 只。试验羊饲喂的基础饲粮参照 NRC（2007）配制，其组成及营养水平见表 1。在基础饲粮中分别添加未包被甜菜碱和过瘤胃甜菜碱，共分为对照（Con）组、2 g 过瘤胃甜菜碱组（RPB-2）、2.2 g 甜菜碱组（B-2.2）、4 g 过瘤胃甜菜碱组（RPB-4）、6 g 过瘤胃甜菜碱组（RPB-6）。甜菜碱与过瘤胃甜菜碱均先预混入精料中进行添加。饲粮均以全混合日粮形式饲喂，花生秧和豆秸粉碎至 2 cm 左右的长度。试验羊于每天 07:00 和 17:00 饲喂 2 次，自由饮水，定期对圈舍进行消毒。预试期 10 d，正试期 60 d。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels2)	含量 Content

花生秧 Peanut vine	40.00	代谢能 ME/(MJ/kg)	12.37
豆秸 Soybean stalk	20.00	粗蛋白质 CP	10.80
玉米 Grounded corn	28.50	中性洗涤纤维 NDF	48.73
豆粕 Soybean meal	8.50	酸性洗涤纤维 ADF	35.27
小麦麸 Wheat bran	1.50	钙 Ca	0.91
预混料 Premix 1)	0.50	磷 P	0.24
食盐 NaCl	1.00		
总计 Total	100.00		

1) 每千克预混料含有 One kg of premix contained the following:VA 50 000~200 000 IU，VD_3 30 000~80 000 IU，VE 200 mg，烟酸 niacin 350 mg，Zn 1.0~3.0 g，Cu 0.1~0.5 g，Mn 1.0~3.0 mg，Se 1.0~10.0 mg，Ca 10.0%~20.0%，总磷 TP 1.5%，食盐 NaCl 5.0%~10.0%。

2) 代谢能为计算值，参照《动物营养参数与饲养标准》[15]计算，其他营养水平为实测值。ME was calculated in reference to *Nutrition Parameters and Feeding Standard for Animals*[15], while the other nutrient levels were measured values.

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 生长性能的测定

以正试期第 1 天的体重作为初始体重，之后每隔 15 d 晨饲前称重，以第 60 天体重为末重，并记录每组羊的给料量和剩料量。计算平均日采食量（average daily feed intake，ADFI）平均日增重（average daily gain，ADG）和料重比（feed to gain ratio，F/G）。

1.3.2 表观消化率的测定

在试验过程中，每隔 15 d 从每组挑选 6 只试验羊进行消化代谢试验，采用集粪袋进行全收粪法测定，代谢试验适应期 3 d，连续采样 3 d，每 12 h 收集 1 次粪样称重，按粪样重的 10%加入 10%稀硫酸进行固氮，将 3 d 样品混合后冻存。每日收集并记录每日采食量和剩料重。测定饲粮、剩量及粪样的 DM、CP、NDF 和 ADF，参照张丽英[16]的方法。

养分表观消化率（%）=[(摄入养分量-排出养分量)/摄入养分量]×100。

1.3.3 血液生化指标的测定

试验期间，于晨饲前每隔 15 d 采集 1 次颈静脉血样。室温静置 30 min 后，2 000×*g* 离心 10 min，分离血清，测定血清中总蛋白（TP）、尿素氮（UN）、甘油三酯（TG）、总胆固醇（TC）、高密度脂蛋白（HDL）和低密度脂蛋白（LDL）的含量。血清指标的测定采用 DH-364 型全自动生化分析仪进行测定。相应试剂盒均购自浙江东瓯诊断产品有限公司。

1.4 统计分析

试验结果均以平均值和标准误表示，试验数据采用 SPSS 18.0 软件的 one-way ANOVA 和 Duncan 氏多重比较法进行分析，其中 P<0.05 差异显著，P<0.01 为差异极显著，P>0.05 为差异不显著。

2 结 果

2.1 饲粮中添加甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对肉羊生长性能的影响

由表 2 可知，与 Con 组相比，B-2.2 组的 ADG 和 F/G 差异不显著（P>0.05）；但是过瘤胃甜菜碱组具有显著提高 ADG 和显著降低 F/G 的效果（P<0.05）。各试验组中以 RPB-4 组效果最好，RPB-4 组的 ADG 和 F/G 比 Con 组分别提高和降低了 30.03%和 24.02%。各组间 ADFI 无显著性差异（P>0.05）。

表 2 甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对肉羊生长性能的影响

Table 2 Effects of betaine and rumen-protected betaine on growth performance of lambs

项目 Items	组别 Groups					SEM	*P* 值 *P*-value
	Con	B-2.2	RPB-2	RPB-4	RPB-6		
始重 IBW/kg	31.27	31.25	29.98	29.62	30.23	0.81	0.16
末重 FBW/kg	39.27	38.68	40.17	40.03	40.29	1.13	0.57
平均日采食量 ADFI/(g/d)	1.40	1.38	1.41	1.38	1.38	0.06	0.98
平均日增重 ADG(g/d)	133.43^{a}	148.60^{a}	169.85^{b}	173.50^{b}	167.78^{b}	13.70	0.02
料重比 F/G	10.49^{b}	9.90^{b}	8.44^{a}	7.97^{a}	8.59^{a}	0.84	0.02

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著（P>0.05），不同字母表示差异显著（P<0.05）或差异极显著（P<0.01）（显著或极显著依据P值判断）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05) or significant difference (P<0.01) depending on the P-value. The same as below.

2.2 饲粮中添加甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对肉羊生长性能的影响

由表 3 可知，各组间的 DM、NDF、ADF 和 CP 表观消化率均无显著差异（P>0.05）。DM、NDF 和 ADF 表观消化率均以 RPB-6 组最高，与 Con 组相比，分别提高了 3.74%、3.09% 和 6.27%。

表 3 甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对肉羊营养物质表观消化率的影响

Table 3 Effects of betaine and rumen-protected betaine on rumen nutrient apparent digestibility of lambs %

项目 Items	组别 Groups					SEM	*P* 值 *P*-value
	Con	B-2.2	RPB-2	RPB-4	RPB-6		
干物质 DM	68.39	69.92	68.53	68.96	70.95	2.87	0.88
中性洗涤纤维 NDF	54.69	54.55	54.91	55.50	56.38	2.85	0.96
酸性洗涤纤维 ADF	47.51	47.28	49.03	49.61	50.49	4.19	0.92
粗蛋白质 CP	61.60	62.17	58.94	60.14	62.26	3.34	0.82

2.3 饲粮中添加甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对肉羊血液生化指标的影响

由表 4 可知，与 Con 组相比，B-2.2 组血清中 TC、TG、LDL、UN 和 TP 的含量均无显著差异（$P>0.05$）；与 Con 组相比，过瘤胃甜菜碱组血清中 TC、TG 和 UN 的含量显著降低（$P<0.05$），LDL 的含量极显著降低（$P<0.01$），血清中的 TP 含量极显著升高（$P<0.01$）；各组间的 HDL 的含量无显著性差异（$P>0.05$）。

表 4　甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对肉羊血清生化指标的影响

Table 4　Effects of betaine and rumen-protected betaine on serum biochemical indices of lambs

项目 Items	组别 Groups					SEM	*P* 值 *P*-value
	Con	B-2.2	RPB-2	RPB-4	RPB-6		
总胆固醇 TC/(mmol/L)	1.90^{b}	1.88^{b}	1.63^{a}	1.53^{a}	1.65^{a}	0.10	0.02
甘油三酯 TG/(mmol/L)	0.55^{b}	0.60^{b}	0.41^{a}	0.38^{a}	0.38^{a}	0.06	0.01
高密度脂蛋白 HDL/(mmol/L)	0.84	0.83	0.94	1.03	0.86	0.09	0.18
低密度脂蛋白 LDL(mmol/L)	0.48^{b}	0.47^{b}	0.35^{a}	0.35^{a}	0.35^{a}	0.04	<0.01
尿素氮 UN/(mmol/L)	5.53^{b}	5.58^{b}	4.49^{a}	4.47^{a}	4.43^{a}	0.36	0.01
总蛋白 TP/(g/L)	65.57^{a}	64.90^{a}	69.30^{b}	71.07^{b}	69.43^{b}	1.21	<0.01

3 讨　论

3.1 饲粮中添加甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对生长性能的影响

甜菜碱可以作为甲基供体替代蛋氨酸，减少了甲基供体蛋氨酸和胆碱的需要量，并参与动物机体其他重要生理过程，对动物生长具有促进作用[2]。本试验表明，饲粮中添加甜菜碱和过瘤胃甜菜碱均对肉羊的 ADFI 均无显著性影响，但过瘤胃甜菜碱可以提高肉羊的 ADG，并随着过瘤胃甜菜碱添加量的增加呈现增加的趋势，以 4 g/d 添加量效果最好，同时过瘤胃甜菜碱组降低了 F/G。Huang 等[17]研究表明，饲粮中补充甜菜碱能够提高生长激素和胰岛素样生长因子-Ⅰ的含量，通过不同途径促进蛋白质合成，并保证机体的正氮平衡，进而提高动物的生长性能。研究发现在热应激状态下，饲粮中添加包被甜菜碱也可以提高热应激肉牛的日增重及转化率[18]。由于反刍动物瘤胃内环境的特殊性使得饲粮中甜菜碱易被易被瘤胃微生物降解成三甲胺，造成应用效果不显著。本试验中，B-2.2 组对肉羊的生长性能与 Con

组相比差异不显著，这主要可能因为甜菜碱易被瘤胃微生物大量降解有关。除甜菜碱的形式影响应用效果之外，饲粮蛋白质水平也会影响甜菜碱应用效果。Fernández 等[19]研究表明，饲粮中添加甜菜碱（2 g/kg）和过瘤胃甜菜碱（2 g/kg）对肉羊的生长性能无显著性影响，推测是其饲粮蛋白质水平较高所致。

3.2 饲粮中添加甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对营养物质表观消化率的影响

添加甜菜碱在一定程度上可以提高动物的消化率，这是因为甜菜碱具有高渗透压特性，其在细胞内积聚可以增强肠道保水力，能够促进肠道上皮细胞增殖，并且可以增强肠道的张力，增加肠道长度，表面积增大，进而提高动物体对营养物质的消化率[20-21]。Wang 等[13]研究表明，在荷斯坦奶牛饲粮中添加不同水平甜菜碱可以显著提高饲粮中 DM、CP、NDF 和 ADF 的消化率，李华伟等[22]研究表明，饲粮中添加过瘤胃胆碱可以提高杜湖杂交 1 代公羊的 DM、有机物和 ADF 的表观消化率。但是也有关于添加过瘤胃甜菜碱对动物的表观消化率没有显著影响的报道，田兴舟等[23]研究表明对黔北麻羊补饲过瘤胃胆碱对 DM、CP、EE、NDF 的表观消化率无显著影响，但可显著提高 ADF 和粗灰分的表观消化率。本试验中饲粮中添加甜菜碱和过瘤胃甜菜碱均对肉羊 DM、CP、NDF 和 ADF 的消化率无显著影响，但均随过瘤胃甜菜碱添加量增加呈现升高的趋势。试验结果的不一致，可能与动物品种，饲粮组成及饲养条件等多方面原因相关。

3.3 饲粮中添加甜菜碱和过瘤胃甜菜碱对血液生化指标的影响

大量研究表明甜菜碱可以参与动物机体的脂肪代谢和蛋白质代谢。其中 TG 和 TC 的含量是反映脂肪代谢的重要指标，添加甜菜碱有助于卵磷脂合成，进而促进肝脏中脂蛋白的合成和分泌，TG 与脂蛋白结合后运输到肝外，被肝外组织利用，从而降低动物体产生脂肪肝的风险[24]。本试验表明，饲粮中添加过过瘤胃甜菜碱可以降低血清中 TC、TG 的含量，且当过瘤胃甜菜碱添加量为 2 g/d 时，血清中 TC 和 TG 的含量最低，这与张冬梅等[25]、朱定贵等[7]的研究一致。甜菜碱可以转化为肉碱，促进脂肪酸氧化，从而降低血清中 TG 的含量。此外 HDL 可以与胆固醇结合，将血液中胆固醇运到肝脏中进行代谢，使血液中胆固醇含量降低。本试验结果表明，饲粮中添加甜菜碱，能有效降低育肥羊胆固醇和 TG 的沉积，促进了脂肪分解，减少体脂沉积，降低脂肪肝风险。

本试验结果表明，饲粮中添加甜菜碱对血清中 TP 的含量无显著性影响，然而添加过瘤

胃甜菜碱能够显著提高血清中 TP 的含量。血清中的 TP 含量与肌肉率呈现极显著的正相关性，当血液中 TP 含量增加时，蛋白质的合成代谢也随之增强。此外，血清中的 UN 是蛋白质氨基酸代谢的终产物，当 UN 含量降低时，说明动物体内的氨基酸分解作用减弱，本试验结果说明，在饲粮中添加一定量的甜菜碱有利于蛋白质合成代谢加强和蛋白质沉淀增加。这与甜菜碱可以提供蛋白质合成所需的甲基供体有关，进一步满足肉羊生长需要。这与董冠[8]研究结果一致，即饲粮中添加一定水平的过瘤胃甜菜碱可以提高蛋白质的消化吸收程度。

4 结 论

饲粮中添加过瘤胃甜菜碱，能够提高肉羊生长性能，改善蛋白质和脂肪代谢，适宜添加量为 4 g/d。

参考文献：

[1] KIDD M T,FERKET P R,GARLICH J D.Nutritional and osmoregulatory functions of betaine[J].World’s Poultry Science Journal,1997,53(2):125–139.

[2] EKLUND M,BAUER E,WAMATU J,et al.Potential nutritional and physiological functions of betaine in livestock[J].Nutrition Research Reviews,2005,18(1):31–48.

[3] 王敏奇,许梓荣,汪以真.甜菜碱对生长猪脂肪代谢的影响[J].浙江农业学报,2001,13(6):339–342.

[4] RATRIYANTO A,MOSENTHIN R,BAUER E,et al.Metabolic,osmoregulatory and nutritional functions of betaine in monogastric animals[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2009,22(10):1461–1476.

[5] 王磊.甜菜碱的渗透压调节作用与动物肠道健康[J].饲料博览,2013(9):49–52.

[6] HASSAN R A,EBEID T A,EL-LATEIF A I A,et al.Effect of dietary betaine supplementation on growth,carcass and immunity of New Zealand White rabbits under high ambient temperature[J].Livestock Science,2011,135(2/3):103–109.

[7] 朱定贵,于丹,陈涛,等.甜菜碱对奥尼罗非鱼生长、体脂含量及血清生化指标的影响[J].上海海洋大学学报,2011,20(2):224–229.

[8] 董冠.甜菜碱对生长肥育猪生产性能及血清指标影响的研究[J].硕士学位论文.泰安：山东农业大学,2012.

[9] WANG Y Z,XU Z R,FENG J.The effect of betaine and *DL*-methionine on growth performance and carcass characteristics in meat ducks[J].Animal Feed Science and Technology,2004,116(1/2):151–159.

[10] MITCHELL A D,CHAPPELL A,KNOX K L.Metabolism of betaine in the ruminant[J].Journal of Animal Science,1979,49(3):764–774.

[11] 樊晓京,夏成,郑家三,等.过瘤胃甜菜碱对奶牛泌乳性能和生产性能的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2011,23(5):42–45.

[12] 连红,张丽,周国波,等.复合包膜甜菜碱对夏季奶牛产奶性能及血液生化指标的影响[J].福建农林大学学报:自然科学版,2012,41(5):523–528.

[13] WANG C,LIU Q,YANG W Z,et al.Effects of betaine supplementation on rumen fermentation,lactation performance,feed digestibilities and plasma characteristics in dairy cows[J].Journal of Agricultural Science,2010,148(4):487–495.

[14] LÖEST C A,TITGEMEYER E C,DROUILLARD J S,et al.Supplemental betaine and peroxide-treated feather meal for finishing cattle[J].Journal of animal science,2002,80(9):2234–2240.

[15] 张宏福.动物营养参数与饲养标准[M].2 版.北京:中国农业出版社,2010:5–6.

[16] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2003:49–78.

[17] HUANG Q C,XU Z R,HAN X Y,et al.Changes in hormones,growth factor and lipid metabolism in finishing pigs fed betaine[J].Livestock Science,2006,105(1/2/3):78–85.

[18] 贾亚伟,董国忠,王芳,等.甜菜碱和酵母铬对高温环境中肉牛生产性能的影响[J].中国饲料,2011(14):26–28.

[19] FERNÁNDEZ C,LÓPEZ-SAEZ A,GALLEGO L,et al.Effect of source of betaine on growth performance and carcass traits in lambs[J].Animal Feed Science and Technology,2000,86(1/2):71–82.

[20] KETTUNEN H,PEURANEN S,TIIHONEN K.Betaine aids in the osmoregulation of duodenal epithelium of broiler chicks,and affects the movement of water across the small intestinal epithelium in vitro[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular

& Integrative Physiology,2001,129(2/3):595–603.
[21] SILJANDER-RASI H,PEURANEN S,TIIHONEN K,et al.Effect of equimolar dietary betaine and choline addition on performance,carcass quality and physiological parameters of pigs[J].Journal of Animal Science,2003,76:55–62.
[22] 李华伟,王洪荣,王梦芝,等.过瘤胃保护胆碱对肉羊生长、消化、血清指标及肉品质的影响[J].动物营养学报,2015,27(4):1117–1123.
[23] 田兴舟,韦济友,李明忠,等.过瘤胃胆碱对黔北麻羊羔羊生长性能及血浆生化指标的影响[J].动物营养学报,2014,26(9):2857–2865.
[24] 李红霞,刘文斌,李向飞,等.饲料中添加氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫生长、脂肪代谢和血液指标的影响[J].水产学报,2010,34(2):292–299.
[25] 张冬梅,边连全,安磊旭,等.肉碱与甜菜碱对育肥猪生长性能及脂肪代谢的影响[J].河南农业科学,2009(4):111–114.

Manipulation of Rumen-Protected Betaine on Growth Performance and Digestion and Metabolism of Lambs[2]

CUI Huihui[1] WANG Hongrong[1*] LI Huawei[1] XU Jinhao[1] He Yao[1] YU Lihuai[1] Zou Sanyuan[2]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *Yangzhou University*, *Yangzhou* 225009, *China;* 2. *Yixing Tianshi Feed Co., Ltd.*, *Yixing* 214200, *China*)

Abstract: This study was conducted to study the effects of betaine and rumen-protected betaine on growth performance, nutrient apparent digestibility and blood biochemical indices of lambs. Sixty four-month-old male *Hu* lambs were randomly allocated to 5 groups: control (Con) group, 2.2 g/d betaine (B-2.2) group, 2 g/d rumen-protected betaine (RPB-2) group, 4 g/d rumen-protected betaine (RPB-4) group, 6 g/d rumen-protected betaine (RPB-6) group. The experiment has a 15-day pre-experiment and a 60-day experiment. The results showed as follows: 1) compared with Con group, average daily feed intake, average daily gain and feed to gain ratio of lambs in B-2.2 group were not significantly different ($P>0.05$); the apparent digestibility of dry matter, crude

*Corresponding author, professor, E-mail: hrwang@yzu.edu.cn (责任编辑 王智航)

protein, neutral detergent fiber and acid detergent fiber were not significantly changed ($P>0.05$); and the contents of total protein, urea nitrogen, total cholesterol, triglyceride, high-density lipoprotein and low-density lipoprotein in serum were not significantly affected ($P>0.05$). 2) As compared with Con and B-2.2 groups, the average daily feed intake in RPB-2, RPB-4, RPB-6 groups was not significantly different ($P>0.05$), however, average daily gain was significantly increased ($P<0.05$), and feed to gain ratio of lambs was significantly decreased ($P<0.05$); the apparent digestibility of dry matter, crude protein, neutral detergent fiber and acid detergent fiber were not significantly affected ($P>0.05$); the contents of urea nitrogen, total cholesterol and triglyceride in serum were significantly lowered ($P<0.05$), that of low-density lipoprotein was significantly lowered ($P<0.01$), and that of total protein was significantly increased ($P<0.05$), while that of high-density lipoprotein was not significantly different ($P>0.05$). In conclusion, dietary addition of rumen-protected betaine is effective in improving growth performance of lambs and promoting protein and fat metabolism, and the optimal level is 4g/d.

Key words: betaine; rumen-protected betaine; lamb; growth performance; serum biochemical indices